

DIN EN ISO 12569

ICS 91.120.10

Einsprüche bis 2010-09-12
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 12569:2001-03

Entwurf

**Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden und Werkstoffen –
Bestimmung des spezifischen Luftvolumenstroms in Gebäuden –
Indikatorgasverfahren (ISO/DIS 12569:2010);
Deutsche Fassung prEN ISO 12569:2010**

Thermal performance of building and materials –
Determination of specific airflow rate in buildings –
Tracer gas dilution method (ISO/DIS 12569:2010);
German version prEN ISO 12569:2010

Performances thermiques des bâtiments –
Détermination du renouvellement d'air dans les bâtiments –
Méthode de dilution de gaz traceurs (ISO/DIS 12569:2010);
Version allemande prEN ISO 12569:2010

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2010-07-05 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an nabau@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN, 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 67 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN
Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL

Nationales Vorwort

Diese Europäische Norm (prEN ISO 12569:2010) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 89 „Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen“ (Sekretariat: SIS, Schweden) in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee ISO/TC 163/SC 1 „Prüf- und Messverfahren“ unter deutscher Mitwirkung erarbeitet.

Der für die deutsche Mitarbeit zuständige Arbeitsausschuss im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist der als Spiegelausschuss zu CEN/TC 89 eingesetzte Arbeitsausschuss NA 005-56-93 AA „Luftdichtheit“ des Normenausschusses Bauwesen (NABau).

Für die im Abschnitt 2 zitierten Internationalen und Europäischen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

EN ISO 7345 siehe DIN EN ISO 7345

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 12569:2001-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Aufnahme des Abschnittes 4 „Messverfahren und dessen Auswahl“
- b) Aufnahme des Abschnittes 5.5.2 „Durchführung des Verfahrens mit mittlerer Umkehrkonzentration“
- c) Aufnahme des Anhangs B „Verfahren zur gleichzeitigen Abschätzung der Luftwechselrate Q und des Volumens der effektiven Mischzone V_{efc} “
- d) Aufnahme des Anhangs C „Prüfverfahren, bei dem das in der Ausatemluft der Bewohner enthaltene Kohlendioxid als Indikatorgas eingesetzt wird“
- e) Aufnahme des Anhangs D „Überlegungen zur Messung der Luftwechselrate von großen Räumen“
- f) Aufnahme des Anhangs E „Verfahren zur Berechnung des Volumens der effektiven Mischzone V_{efc} “
- g) Aufnahme des Anhangs F „Auswirkungen der Differenz zwischen der Innen- und der Außentemperatur, der Temperaturänderungen sowie der Änderung der Außenluftkonzentration während der Messung“
- h) Aufnahme des Anhangs G „Verfahren der Minimierung des Schätzfehlers bei der Messung des Konzentrationsabfalls“
- i) Weiterreichende Ergänzung durch ausführliche Gleichungen
- j) Ergänzung durch Bilder und Tabellen.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 7345, Wärmeschutz — Physikalische Größen und Definitionen

**Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden und Werkstoffen —
Bestimmung des spezifischen Luftvolumenstroms in Gebäuden —
Indikatorgasverfahren (ISO/DIS 12569:2010)**

(ISO/DIS 12569:2010)

Thermal performance of buildings and materials — Determination of specific rate in buildings — Tracer gas dilution method (ISO/DIS 12569:2010)

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: parallele Umfrage
Dokumentsprache: D

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Messverfahren und dessen Auswahl.....	7
4.1 Indikatorgasverfahren mit abfallender Konzentration	10
4.2 Indikatorgasverfahren mit konstanter Injektion	12
4.3 Indikatorgasverfahren mit konstanter Konzentration.....	15
4.4 Art des Indikatorgases	15
4.5 Messausrüstung	17
5 Durchführung.....	19
5.1 Allgemeines.....	19
5.2 Vorbereitung des Gebäudes.....	20
5.3 Unterstützende Messungen.....	20
5.4 Indikatorgasverfahren mit abfallender Konzentration	20
5.5 Verfahren mit konstanter Injektion	28
5.6 Indikatorgasverfahren mit konstanter Konzentration.....	34
6 Genauigkeit	36
6.1 Dosierungsverfahren des Indikatorgases und Verteilung der Raumkonzentration	37
6.2 Probenahme des Indikatorgases und Lagerung dieses Gases	37
6.3 Geräte zur Messung der Indikatorgaskonzentration.....	37
6.4 Änderungen bei Wind und Außenlufttemperatur sowie Zeitschema der RLT-Anlage	38
7 Prüfbericht.....	38
7.1 Alle zur Identifizierung der geprüften Simulierung erforderlichen Einzelheiten	39
7.2 Einzelheiten zu Heiz- und Lüftungsanlagen	39
7.3 Verweisung auf diese Internationale Norm	39
7.4 Prüfbedingungen und -geräte	39
7.5 Zusammengetragene Daten und Ergebnisse	40
7.6 Datum der Prüfung	40
Anhang A (normativ) Vertrauensintervalle	41
A.1 Allgemeines	41
A.2 Prüfverfahren mit abfallender Konzentration	41
A.3 Prüfverfahren mit konstantem Durchschnitt	43
A.4 Prüfverfahren mit konstanter Konzentration	44
Anhang B (normativ) Verfahren zur gleichzeitigen Abschätzung der Luftwechselrate Q und des Volumens der effektiven Mischzone V_{efc}	45
B.1 Allgemeines.....	45
B.2 Vor- und Nachteile des intermittierenden Verfahrens	45
B.3 Modell der Grundgleichung für einen einzelnen Raum	46
B.4 Erarbeitung der Gleichung für die Mehrfachregressionsanalyse	46
B.5 Verfahren zur Berechnung der Variablen für das Mehrfachregressionsmodell	47
B.6 Verfahren unter Anwendung eines bestehenden Rechenprogramms der Mehrfachregressionsanalyse	47
Anhang C (informativ) Prüfverfahren, bei dem das in der Ausatemluft der Bewohner enthaltene Kohlendioxid als Indikatorgas eingesetzt wird	51

C.1	Allgemeines	51
Anhang D (informativ)	Überlegungen zur Messung der Luftwechselrate von großen Räumen	52
Anhang E (informativ)	Verfahren zur Berechnung des Volumens der effektiven Mischzone V_{efc}	53
Anhang F (informativ)	Auswirkungen der Differenz zwischen der Innen- und der Außentemperatur, der Temperaturänderungen sowie der Änderung der Außenluftkonzentration während der Messung	55
F.1	Bei homogener Temperatur und Indikatorgaskonzentration in einer einzelnen Zone	55
F.2	Bei nicht homogener Temperatur und Indikatorgaskonzentration in einer einzelnen Zone	57
Anhang G (informativ)	Verfahren der Minimierung des Schätzfehlers bei der Messung des Konzentrationsabfalls	59
G.1	Allgemeines	59
G.2	Abschätzung der Luftwechselrate mit der Methode der kleinsten Quadrate	59
G.3	Abklingdauer zur Minimierung der Auswirkungen der Fehler bei der Konzentrationsmessung	60
Anhang H (informativ)	Analyse der Fehlerfortpflanzung	63
H.1	Prüfverfahren mit abfallender Konzentration	63
H.2	Prüfverfahren mit konstanter Injektion	63
H.3	Prüfverfahren mit konstanter Konzentration	64
Literaturhinweise		65

Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 12569:2010) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 163 „Wärmetechnisches Verhalten und Energieverbrauch in der gebauten Umgebung“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 89 „Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom SIS gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 12569:2010 wurde vom CEN als prEN ISO 12569:2010 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Einleitung

Das Ziel der Lüftung besteht darin, einen angemessenen hygienischen Zustand im Raum aufrechtzuerhalten, indem Außenluft in den Raum eingeführt wird wodurch im Raum erzeugte Verunreinigungen, Wärme, Feuchte sowie Gerüche verdünnt und entfernt werden. Hinsichtlich der Energieeinsparung ist es auch von Bedeutung, die erforderliche Luftwechselrate einzuhalten, um Wärmeverluste sowie Wärmegewinne bei Einsatz von RLT-Anlagen soweit wie möglich zu verringern. Die Messung der Luftvolumenströme ist häufig erforderlich, beispielsweise um zu überprüfen, ob eine Lüftungsanlage die bestimmungsgemäße Leistung aufweist, um die Quellenstärke der Verunreinigungen zu beurteilen um sicherzustellen, dass die Verunreinigungen angemessen entfernt werden usw. Die hier beschriebenen Verfahren können angewendet werden, um die Luftwechselrate oder den spezifischen Luftvolumenstrom zu messen.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm beschreibt die Anwendung des Indikatorverfahrens zur Bestimmung der Luftwechselrate/des spezifischen Luftvolumenstroms in einem Raum eines Gebäudes, der als aus einer einzelnen Zone bestehend angesehen wird.

- 1) Das Prüfverfahren gilt für Räume, in denen die Luft gut durchmischt ist. Insbesondere sollten keine starken Luftströme wie z. B. Querlüftung vorliegen.
- 2) Diese Europäische Norm umfasst drei Prüfverfahren, bei denen Indikatorgas zum Einsatz kommt:
(1) Prüfverfahren mit abfallender Konzentration, (2) Prüfverfahren mit konstanter Injektion und
(3) Prüfverfahren mit konstanter Konzentration.

ANMERKUNG 1 In Räumen, in denen eine intensive Lüftung auftritt, beispielsweise Querlüftung, ist die Konzentration nicht gleichmäßig verteilt, und es besteht die Tendenz zum Auftreten großer Konzentrationsänderungen über die Zeit; daher werden sie hier nicht behandelt. Ist jedoch die Strömungsrichtung ersichtlich, wie dies beispielsweise bei der Strömung in einer Luftleitung der Fall ist, kann der spezifische Luftvolumenstrom unter Anwendung des Verfahrens mit konstanter Injektion beurteilt werden.

ANMERKUNG 2 Die Messgenauigkeit des sogenannten Verfahrens mit ansteigender Konzentration ist relativ schlecht, daher wird dieses Verfahren selten angewendet und wird auch hier nicht aufgeführt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 7345, *Thermal insulation — Physical quantities and definitions*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 7345 und die folgenden Begriffe.

3.1
einzelne Zone V
ein Raum, in dem die Luftwechselrate/der spezifische Luftvolumenstrom zu messen ist und ein Luftaustausch nur mit der Umgebung erfolgt

ANMERKUNG Die für die Messung erforderlichen Bedingungen sind für jedes Prüfverfahren unterschiedlich, Einzelheiten werden in Abschnitt 4 angegeben.

3.2
wirksame Mischzone V_{emz}
ein Raum innerhalb einer einzelnen Zone, mit Ausnahme verschlossener Möbel oder Lagerbereiche, in dem das in die Zone abgegebene Indikatorgas als gleichmäßig verteilt angesehen wird. Häufig ist eine Zwangsmischung der Luft in der Zone erforderlich, um eine gleichmäßige Konzentration des Indikatorgases aufrechtzuerhalten

3.3
Luftwechselrate Q
der Wert der Ablufttemperatur in Bezug auf die Luftdichte. Wenn die Raumluft gut durchmischt ist, entspricht die Raumtemperatur der Ablufttemperatur [angegeben in m^3/s oder m^3/h]

3.4

spezifischer Luftvolumenstrom N

Verhältnis von Q zum Volumen der wirksamen Mischzone [angegeben in 1/s oder 1/h]

3.5

Gebäudehülle

Umfassungsfläche, die das Innenvolumen eines Gebäudes von der Umgebung trennt

3.6

Indikatorgas

das Indikatorgasvolumen ist als der in die Dichte umgewandelte Wert der Ablufttemperatur definiert. Wenn die Raumluft gut durchmischt ist, entspricht die Raumtemperatur der Ablufttemperatur

3.7

Verfahren mit abfallender Konzentration

Verfahren, bei dem der spezifische Luftvolumenstrom aus der abfallenden Konzentrationskurve bestimmt wird, die nach dem Ende der Injektion des Indikatorgases beobachtet wird

3.8

Verfahren mit konstanter Injektion

Verfahren, bei dem die Luftwechselrate aus der Konzentration bestimmt wird, die sich aus einer kontinuierlichen und gleichmäßigen Erzeugung oder Injektion des Indikatorgases ergibt

3.9

Verfahren mit konstanter Konzentration

Verfahren, bei dem die Luftwechselrate aus der Injektionsrate des Indikatorgases bestimmt wird, das für eine konstante Konzentration im Raum dosiert ist

ANMERKUNG 1 Indikatorgas wird verwendet, um Luftvolumenströme, Luftaustausch und Luftundichtheiten zu untersuchen. Arten des Indikatorgases, Messgeräte, für die Messungen geltende Einschränkungen, zulässige Konzentrationen und Indikatorgasverhältnisse sind in Tabelle 2 angegeben. Gase mit einer Temperatur, die um mehr als 3 K von der Raumtemperatur abweicht, sollten nicht für das Gasdilutionsverfahren verwendet werden. Sofern nicht anders festgelegt, sind die Gaskonzentrationen als Volumen angegeben.

ANMERKUNG 2 Im Prüfbericht sollte angegeben werden, wenn das Raumvolumen eingeschobene Decken und Unterböden umfasst.

ANMERKUNG 3 Für das Volumen einer wirksamen Mischzone siehe Anhang C und die Literaturhinweise.

4 Messverfahren und dessen Auswahl

Zur Messung von Luftwechselrate/spezifischem Luftvolumenstrom wird eines der drei Prüfverfahren (Verfahren mit abfallender Konzentration, Verfahren mit konstanter Injektion, Verfahren mit konstanter Konzentration) angewendet. Die Auswahl eines dieser Prüfverfahren und die Datenverarbeitung hängen von der Gebäudestruktur, der Lüftungsanlage und dem angewendeten Messgerät ab. Das Verfahren mit abfallender Konzentration weist eine begrenzte Messzeit von bis mehreren Stunden auf, während die Verfahren mit konstanter Injektion und konstanter Konzentration längere Messzeiten von bis zu mehreren Wochen aufweisen können. Die Anleitung zur Auswahl des Verfahrens sowie die mit dem Verfahren gemessenen Größen sind in der folgenden Tabelle aufgelistet.

Um die Genauigkeit bei der Messung der Luftwechselrate/des Luftvolumenstroms zu verbessern, sind manchmal besondere Maßnahmen erforderlich, um die für die Prüfverfahren erforderlichen Bedingungen annähernd zu erreichen. Insbesondere gilt, wenn ein Prüfverfahren angewendet würde, bei dem in der wirksamen Mischzone eine gleichmäßige Konzentration erforderlich ist, dass die Innenluft vorzugsweise durch Zwangsmischen gemischt werden sollte. Im Allgemeinen hat das Zwangsmischen der Innenluft nur einen geringen Einfluss auf die Luftwechselrate/den spezifischen Luftvolumenstrom, aber es besteht das Risiko, dass es die gemessene Luftwechselrate beeinflusst, wenn aufgrund von Temperaturunterschieden natürliche Lüftung überwiegt und die Temperatur im Raum sehr unterschiedlich verteilt ist, oder wenn ein zum Zwecke

des Durchmischens der Luft von einem Ventilator abgegebener Luftstrom direkt auf die undichten Stellen im Gebäude gerichtet ist. In diesen Fällen muss das Mischsystem verbessert werden, oder es wird empfohlen, ein Prüfverfahren auszuwählen, das ohne Notwendigkeit des Mischens eine gleichmäßige Konzentration sicherstellen kann.

In Tabelle 1 werden die Spezifikationen für die verschiedenen Anwendungen wie folgt präzisiert:

- Die „Raumkonzentration kann nur in der Anfangsphase gleichmäßig gehalten werden“ bedeutet, dass die Konzentration in der wirksamen Mischzone beim Zuführen des Indikatorgases in die Zone durch ein Verfahren wie das Zwangsmischen gleichmäßig gestaltet wird, wobei sich die Konzentration im Prinzip jedoch im Laufe der Messung verteilen kann.
- Sofern festgelegt ist, dass die „Raumkonzentration zu allen Zeiten gleichmäßig gehalten werden sollte“, ist ein kontinuierliches Zwangsmischen der Luft in der wirksamen Mischzone zu bevorzugen. Wird jedoch das Verfahren mit konstanter Konzentration angewendet, und wird die Konzentration durch Injizieren des Indikatorgases an verschiedenen Stellen geregelt und erfolgt die Luftprobenahme an mehreren Stellen, kann davon ausgegangen werden, dass die Konzentration auch ohne Mischen gleichmäßig ist.
- Die „mittlere Abluftkonzentration kann gemessen werden“ kann entweder Fälle bedeuten, in denen die Konzentration in einer wirksamen Mischzone durch Mischen gleichmäßig gestaltet wird, oder Fälle, in denen der Druck innerhalb einer Zone durch Anwendung der genutzten Lüftungsanlage geringer gehalten wird als außerhalb dieser Zone, oder aber Fälle, in denen die Leckage extrem niedrig ist, sodass die Exfiltrationsrate ignoriert werden könnte und die Abluftwege zuvor festgelegt werden könnten.
- Prüfverfahren, bei denen das „bekannte Volumen einer wirksamen Mischzone“ erforderlich ist, sind diejenigen, bei denen das Volumen der wirksamen Mischzone bekannt sein oder gemessen werden sollte, um die Luftwechselrate berechnen zu können; diese Verfahren sind in den Fällen anwendbar, in denen eine Abschätzung auf der Grundlage der Raummaße möglich ist. Wird jedoch das entsprechende Verfahren mit mittlerer Umkehrkonzentration und das mit mittlerer Konzentration angewendet und wird die Luftwechselrate ausreichend lange bewertet, ist für die Abschätzung des Volumens einer wirksamen Mischzone nicht länger eine hohe Genauigkeit erforderlich.
- Prüfverfahren, die in Fällen angewendet werden können, in denen die „Schwankungen in der Luftwechselrate ignoriert werden können“, sind auf der Annahme ausgelegt, dass die Luftwechselrate/der spezifische Luftvolumenstrom sich mit der Zeit nicht ändert; werden diese Verfahren daher in Fällen angewendet, in denen über die Zeit große Änderungen auftreten, können Probleme bei der Auslegung der Messergebnisse auftreten.

Tabelle 1 — Verfahren, Anwendung und Messgrößen

Anwendung & Messgrößen Verfahren		Anwendung					Folgendes wird gemessen	
		Raumkonzentration kann nur in der Anfangsphase gleichmäßig gehalten werden	Raumkonzentration kann zu allen Zeiten gleichmäßig gehalten werden	Die mittlere Abluftkonzentration kann gemessen werden	Bekanntes Volumen der wirksamen Mischzone	Schwankungen in der Luftwechselrate können ignoriert werden	Luftwechselrate oder spezifischer Luftvolumenstrom	Flexibilität gegenüber einer transienten Luftwechselrate
Verfahren mit abfallender Konzentration	2-Punkt-Abklingverfahren		○				spezifischer Luftvolumenstrom	Δ
	Mehrpunkt-Abklingverfahren		○			○	spezifischer Luftvolumenstrom	
	Verfahren mit abklingender Abluftkonzentration	○		○		○	spezifischer Luftvolumenstrom	
	Impulsverfahren			○		○	Luftwechselrate	
Verfahren mit konstanter Injektion	Verfahren mit mittlerer Umkehrkonzentration		○		○		Luftwechselrate	Δ
	Verfahren mit mittlerer Konzentration		○		○	○	Luftwechselrate	
	Verfahren mit stationärer Konzentration			○		○	Luftwechselrate	
Verfahren mit konstanter Konzentration			○				Luftwechselrate	○

ANMERKUNG Zusätzlich zu den vorstehend angegebenen Prüfverfahren besteht ein Verfahren mit intermittierender Dosierung, das die gleichzeitige Messung des Volumens der wirksamen Mischzone und der Luftwechselrate zulässt. Ist das Volumen einer wirksamen Mischzone bekannt, kann die Bestimmung der Luftwechselrate neben den weiteren Bestimmungen erfolgen, indem das Volumen der wirksamen Mischzone mit dem spezifischen Luftvolumenstrom multipliziert und dann in die Luftwechselrate umgewandelt wird. Die Prüfverfahren, die in der Spalte „Flexibilität gegenüber einer transienten Luftwechselrate“ mit „Δ“ gekennzeichnet sind, sind grundsätzlich auf die Fälle anwendbar, in denen Änderungen der Luftwechselrate/des spezifischen Luftvolumenstroms nicht ignoriert werden können; da die Messung jedoch auf der zeitlich gemittelten Luftwechselrate/dem zeitlich gemittelten spezifischen Luftvolumenstrom beruht, weist die Kennzeichnung darauf hin, dass diese Messung nicht der Messung der transienten Luftwechselrate/des transienten spezifischen Luftvolumenstroms entspricht. Die Kennzeichnung der Verfahren mit konstanter Konzentration mit einem „○“ bedeutet, dass diese Verfahren der Messung der transienten Luftwechselrate entsprechen, wenn die Dosis des Indikator-gases genau der transienten Luftwechselrate entspricht, bei der die interne Konzentration auf einer konstanten Stufe gehalten wird.

4.1 Indikatorgasverfahren mit abfallender Konzentration

Zu Beginn der Messung wird das Indikatorgas der zu messenden Zone zugeführt, und die Luftwechselrate/der spezifische Luftvolumenstrom wird auf der Grundlage der erhaltenen Daten zum Konzentrationsabfall bewertet. Im Falle des Zwangsmischens zum Zwecke der gleichmäßigen Verteilung oder wenn die mittlere Abluftkonzentration gemessen werden kann, kann die Anzahl der Messstellen auf eine begrenzt werden. Die Menge des für eine Messung erforderlichen Indikatorgases ist sehr gering, und es ist mit Ausnahme des Impulsverfahrens nicht erforderlich, die Menge des injizierten Gases genau zu messen. Die Grundgleichung, die auf alle Verfahren angewendet werden kann, ist wie folgt:

$$\frac{dV_{\text{gas}}(t)}{dt} = -C_E(t)Q(t) \quad (1)$$

Dabei ist

t die Zeit [h];

$V_{\text{gas}}(t)$ das Gesamtvolumen des Indikatorgases in einer Zone zum Zeitpunkt „ t “ ($= \iiint_V C(x, t) dV$) [m³];

x die Stelle innerhalb einer Zone;

$C(x, t)$ die Konzentration zum Zeitpunkt „ t “, „ x “ in einer Zone [m³/m³];

$Q(t)$ die Luftwechselrate zum Zeitpunkt „ t “ [m³/h];

$C_E(t)$ die mittlere Abluftkonzentration zum Zeitpunkt „ t “ [m³/m³].

ANMERKUNG Bei Gleichung (1) wird davon ausgegangen, dass die Dichtedifferenz zwischen Innen- und Außenluft, die sich vorwiegend aus der Temperaturdifferenz ergibt, vernachlässigt werden kann.

4.1.1 2-Punkt-Abklingverfahren

Wenn die Konzentration in einer wirksamen Mischzone dauerhaft gleichmäßig gestaltet wurde, wird die zeitlich gemittelte Luftwechselrate vom Anfangs- bis zum Endpunkt der Messung berechnet. Der spezifische Luftvolumenstrom muss während der Messung nicht konstant sein. Aus den vorstehenden Bedingungen wird folgende Gleichung abgeleitet:

$$V_{\text{gas}}(t) = V_{\text{emz}} \cdot C(t)$$

$$C_E(t) = C(t) \quad (2)$$

Dabei ist

$C(t)$ die Konzentration in einer wirksamen Mischzone (gleichmäßige Verteilung) zum Zeitpunkt t [m³/m³];

V_{emz} das Volumen einer wirksamen Mischzone (unter der Annahme, dass keine zeitbezogenen Änderungen auftreten) [$= \iiint_V C(x, t) dV / C_E(t)$] [m³];

Gleichung (1) und Gleichung (2) ergeben Gleichung (3), aus der Gleichung (4) abgeleitet werden kann.

$$\int_{t_1}^{t_2} \frac{dC}{C(t)} = - \int_{t_1}^{t_2} \frac{Q(t)}{V_{\text{emz}}} dt \quad (3)$$

$$\bar{N} = \frac{1}{t_2 - t_1} \log_e \frac{C(t_1)}{C(t_2)} \quad (4)$$

Dabei ist

t die Zeit (t_1 : Anfangspunkt der Messung, t_2 : Endpunkt der Messung) [h];

$\bar{N}$ der zeitlich gemittelte spezifische Luftvolumenstrom ($= \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{Q(t)}{V_{\text{emz}}} dt$) [1/h];

Auf der Grundlage der zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten erhaltenen Messdaten zur Konzentration wird der zeitlich gemittelte spezifische Luftvolumenstrom für diese Periode berechnet. Während der Messperiode muss die Konzentration in der wirksamen Mischzone gleichmäßig gehalten werden. Für die genaue Messung des spezifischen Luftvolumenstroms muss die Konzentrationsdifferenz zwischen Anfangs- und Endpunkt der Messung ausreichend oberhalb des Fehlers bei der Konzentrationsmessung liegen.

4.1.2 Mehrpunkt-Abklingverfahren

Der spezifische Luftvolumenstrom wird berechnet, wenn die Konzentrationsverteilung in einer wirksamen Mischzone gleichmäßig gehalten wird und die Luftwechselrate mit der Zeit nicht schwankt. Gleichung (5) ergibt sich, wenn die Luftwechselrate in Gleichung (3) konstant gehalten und die Gleichung umgewandelt wird.

$$\log_e C(t) = \log_e C(t_1) - N(t - t_1) \quad (5)$$

Dabei ist

N der spezifische Luftvolumenstrom [1/h].

Die Luftwechselrate wird mit den Messdaten der Konzentration unter Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate auf eine Gerade nach Gleichung (5) berechnet. Die Bedingung, dass der spezifische Luftvolumenstrom über die Zeit nicht schwankt, ist bestätigt, wenn $\log_e C(t)$ gegen t abgebildet wird und sich dabei eine lineare Beziehung ergibt. Ergibt sich keine lineare Beziehung, weist dies darauf hin, dass die Luftwechselrate nicht konstant ist, damit handelt es sich bei dem mit diesem Verfahren erhaltenen spezifischen Luftvolumenstrom nicht um den zeitlich gemittelten spezifischen Luftvolumenstrom. In diesem Fall sollte das 2-Punkt-Abklingverfahren angewendet werden.

4.1.3 Verfahren mit abklingender Abluftkonzentration

Der spezifische Luftvolumenstrom wird berechnet, wenn die mittlere Abluftkonzentration messbar ist, die Konzentrationsverteilung in einer wirksamen Mischzone am Anfangspunkt der Messung gleichmäßig ist und die Luftwechselrate über die Zeit nicht schwankt. Das Verfahren kann auch angewendet werden, wenn die Konzentration nach dem Beginn der Messung verteilt wird. Eine gleichzeitige Messung ist mit der mittleren Verteilung möglich. Wenn die Zeit bis ∞ integriert wird, indem die Luftwechselrate in Gleichung (1) konstant gehalten wird, ergibt sich Gleichung (6):

$$\int_{t_1}^{\infty} dV_{\text{gas}}(t) = Q \int_{t_1}^{\infty} C_E(t) dt \quad (6)$$

Wenn die Konzentration in einer wirksamen Mischzone am Anfangspunkt der Messung gleichmäßig gestaltet wird, ergibt sich als Ergebnis $V_{\text{gas}}(t_1) = V_{\text{emz}} \cdot C(t_1)$; nach einer ausreichenden Zeit ist das Ergebnis $V_{\text{gas}}(\infty) = 0$, woraus sich Gleichung (7) ergibt:

$$N = \frac{C(t_1)}{\int_{t_1}^{\infty} C_E(t) dt} \quad (7)$$

Das heißt, dass der Kehrwert des mittleren lokalen Luftalters im Abluftauslass der spezifische Luftvolumenstrom im Raum ist. Liegen mehrere Abluftauslässe vor, wird die mittlere Abluftkonzentration angewendet, die in Abhängigkeit von dem an jedem Abluftauslass gemessenen Abluftvolumenstrom gewichtet wurde.

ANMERKUNG Sofern die Differenz zwischen der Abluft- und der Raumtemperatur nicht ignoriert werden kann, ist auf Anhang F Bezug zu nehmen.

4.1.4 Impulsverfahren

Die Luftwechselrate wird berechnet, wenn die mittlere Abluftkonzentration messbar ist und die Luftwechselrate über die Zeit nicht schwankt. Das am Anfangspunkt der Messung zugeführte Indikatorgasvolumen muss genau bewertet werden, die Konzentrationsverteilung in einer Zone muss jedoch nicht gleichmäßig sein. In diesem Fall ist $V_{\text{gas}}(t_1)$ in Gleichung (6) bereits bekannt, und nach einer ausreichenden Zeit wird das Ergebnis $V_{\text{gas}}(\infty) = 0$, woraus sich Gleichung (8) ergibt:

$$Q = \frac{V_{\text{gas}}(t_1)}{\int_{t_1}^{\infty} C_E(t) dt} \quad (8)$$

Dabei ist

$V_{\text{gas}}(t)$ das Volumen des Indikatorgases (= zugeführtes Volumen des Indikatorgases), das zum Anfangspunkt der Messung t_1 im Raum zurückgehalten wird [m^3].

ANMERKUNG Für das Volumen des Indikatorgases wird der in die Dichte umgewandelte Wert der Ablufttemperatur angesetzt.

4.2 Indikatorgasverfahren mit konstanter Injektion

Wird das Indikatorgas der Zone kontinuierlich zugeführt, wird die Luftwechselrate auf der Grundlage der Dosiermenge und der Messdaten zur Konzentration gemessen. Wird ein Prüfverfahren angewendet, das über die gesamte wirksame Mischzone, der das Indikatorgas zugeführt wird, eine gleichmäßig verteilte Konzentration erfordert, sind üblicherweise mehrere Stellen für die Überwachung der Konzentration erforderlich, um die gleichmäßige Verteilung der Konzentration zu verifizieren. Die zugeführte Menge an Indikatorgas nimmt mit der Messdauer zu, dennoch kann das Verfahren auf lange andauernde Messungen angewendet werden. Die passive Messung, bei der das durch das Ausatmen der im Raum befindlichen Bewohner entstehende Kohlendioxid als Indikatorgas verwendet wird, stellt ebenfalls ein Verfahren mit kontinuierlicher Konzentration dar.

Die Grundgleichung, die auf alle Verfahren angewendet werden kann, ist wie folgt:

$$\frac{dV_{\text{gas}}(t)}{dt} = m(t) - C_E(t)Q(t) \quad (9)$$

Dabei ist

$m(t)$ die Dosierung des Indikatorgases zum Zeitpunkt „t“ [m^3/h].

4.2.1 Verfahren mit mittlerer Umkehrkonzentration

Der zeitlich gemittelte spezifische Luftvolumenstrom wird vom Beginn bis zum Ende der Messung berechnet, wobei die Konzentrationsverteilung in der wirksamen Mischzone gleichmäßig gehalten wird. Die Luftwechselrate während der Messung muss nicht konstant sein, jedoch ist die Bestimmung der Momentankonzentration während der Messung, der Momentandosierung des Indikatorgases sowie des Volumens der wirksamen Mischzone erforderlich. Auf der Grundlage der angenommenen Bedingungen wird folgende Gleichung abgeleitet:

$$\begin{aligned} V_{\text{gas}}(t) &= V_{\text{emz}} \cdot C(t) \\ C_E(t) &= C(t) \end{aligned} \quad (10)$$

Dabei ist

$C(t)$ die Konzentration in einer wirksamen Mischzone (gleichmäßige Verteilung) zum Zeitpunkt t [m^3/m^3];

V_{emz} das Volumen einer wirksamen Mischzone [m^3].

Gleichung (9) und Gleichung (10) ergeben Gleichung (11), aus der Gleichung (12) abgeleitet werden kann.

$$V_{\text{emz}} \int_{t_1}^{t_2} \frac{dC}{C(t)} = \int_{t_1}^{t_2} \frac{m(t)}{C(t)} dt - \int_{t_1}^{t_2} Q(t) dt \quad (11)$$

$$\bar{Q} = \left[\frac{m}{C} \right] + \frac{V_{\text{emz}}}{t_2 - t_1} \log_e \frac{C(t_1)}{C(t_2)} \quad (12)$$

Dabei ist

t die Zeit (t_1 : Anfangspunkt der Messung, t_2 : Endpunkt der Messung) [h];

$\bar{Q}$ der zeitlich gemittelte spezifische Luftvolumenstrom ($= \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} Q(t) dt$) [m^3/h].

$$\left[\frac{m}{C} \right] = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{m(t)}{C(t)} dt \quad [\text{m}^3/\text{h}];$$

$(\overline{m/C})$ weicht im Allgemeinen von $(\overline{m}/\overline{C})$ ab. Wenn die Dosis m des Indikatorgases während der Messung konstant ist, wird $(\overline{m/C})$ durch $\overline{m}/\overline{C}$ ersetzt. Ist die Messdauer ausreichend lang, verringern sich die Auswirkungen des zweiten Terms auf der rechten Seite von Gleichung (12), sodass in diesem Fall dieses Verfahren auch auf Fälle angewendet werden kann, in denen keine ausreichende Genauigkeit für die Abschätzung des Volumens der wirksamen Mischzone erhalten wird. Unmittelbar nach dem Beginn der Dosierung des Indikatorgases ist die Konzentration im Allgemeinen gering; hieraus ergibt sich eine Neigung zu einer starken Verzögerungswirkung auf das Ansprechverhalten des Konzentrationsmesssystems, einschließlich des Probenahmesystems, und zur Verursachung von Fehlern im gemessenen Konzentrationswert; daher dürfen an dieser Stelle die Daten nicht für die Berechnung der Luftwechselrate verwendet werden.

4.2.2 Indikatorgasverfahren mit mittlerer Konzentration

Es wird die Luftwechselrate berechnet, die nicht mit der Zeit schwankt, wenn die Konzentrationsverteilung in einer wirksamen Mischzone dauerhaft gleichmäßig gestaltet wurde. Ist die Messdauer ausreichend lang, ist

die Berechnung mit nur der zeitlich gemittelten Indikatorgasdosierung und der zeitlich gemittelten Konzentration während der Messung möglich. Sobald Gleichung (10) zu Gleichung (9) ins Verhältnis gesetzt wird, ergibt die Integration der Messzeit Gleichung (13).

$$\int_{t_1}^{t_2} C(t) Q(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} m(t) dt - V_{\text{emz}} \int_{t_1}^{t_2} dC \quad (13)$$

Sofern $Q(t) = Q$ ist, ohne dass sich die Luftwechselrate über die Zeit ändert, ergibt sich Gleichung (14).

$$Q = \frac{\bar{m}}{\bar{C}} - \frac{V_{\text{emz}}}{t_2 - t_1} \left[\frac{C(t_2) - C(t_1)}{\bar{C}} \right] \quad (14)$$

Dabei ist

$$\bar{m} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} m(t) dt \quad [\text{m}^3/\text{h}];$$

$$\bar{C} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} C(t) dt \quad [\text{m}^3/\text{m}^3].$$

Wenn die Messdauer ausreichend lang ist, sind die Auswirkungen des zweiten Terms von Gleichung (14) relativ gering und können ignoriert werden. Ändert sich die Luftwechselrate jedoch über die Zeit, würde sich für den Fall, dass der Mittelwertsatz nach Gleichung (13) angewendet wird, Gleichung (15) ergeben.

$$Q(\xi) = \frac{\bar{m}}{\bar{C}} - \frac{V_{\text{emz}}}{t_2 - t_1} \left[\frac{C(t_2) - C(t_1)}{\bar{C}} \right], \quad t_1 \leq \xi \leq t_2 \quad (15)$$

Die nach Gleichung (15) ermittelte Luftwechselrate ist die zu einem bestimmten Zeitpunkt während der Messung erhaltene Luftwechselrate, nicht jedoch die zeitlich gemittelte Luftwechselrate. Die nach Gleichung (15) ermittelte Luftwechselrate ist in Fällen geeignet, in denen es darum geht, mit Hilfe der Indikatorgasdosierung die Erzeugung der verunreinigenden Substanz im Raum zu simulieren und die zeitlich gemittelte Konzentration abzuschätzen, der der Bewohner ausgesetzt ist. Wenn es möglich ist, die Momentankonzentration und die Momentandosierung des Indikatorgases zum Zwecke der Bestimmung der mittleren Luftwechselrate zu messen, sollte daher das Verfahren mit Umkehrkonzentration angewendet werden.

4.2.3 Indikatorgasverfahren mit stationärer Konzentration

Die Luftwechselrate wird berechnet, wenn sie keinen zeitlichen Schwankungen unterliegt, wobei Bedingungen vorliegen müssen, unter denen die mittlere Abluftkonzentration messbar ist. Das Verfahren kann auch angewendet werden, wenn die Konzentration in einer Zone verteilt ist. Gleichung (16) ergibt sich, wenn ein stationärer Zustand erreicht ist und in Gleichung (9) keine zeitlichen Änderungen angesetzt werden.

$$Q = \frac{m}{C_E} \quad (16)$$

Dabei ist

m die Indikatorgasdosierung $[\text{m}^3/\text{h}]$;

C_E die mittlere Abluftkonzentration $[\text{m}^3/\text{m}^3]$.

Damit wird die Luftwechselrate durch Teilen der konstanten Konzentration durch die Indikatorgasdosierung erhalten.

4.3 Indikatorgasverfahren mit konstanter Konzentration

Um die Konzentration in einer wirksamen Mischzone so zu gestalten, dass sie regelmäßig konstant beim angezielten Wert liegt, sollte die Indikatorgasdosis geregelt werden und die Luftwechselrate auf der Grundlage dieser Dosis bewertet werden. Selbst wenn die Innenluft nicht gleichmäßig durchmischt ist, kann durch Bestimmen mehrerer Indikatorgas-Dosierungspunkte und Messpunkte die Konzentrationsverteilung gleichmäßig gestaltet werden. Für die Regelung der Indikatorgasdosis ist eine Spezialausrüstung erforderlich. Die Grundgleichung hierfür ist wie folgt (zum leichteren Verständnis wurde die Hintergrundkonzentration mit 0 angesetzt).

$$0 = \frac{dV_{\text{gas}}(t)}{dt} = m(t) - C_{\text{target}} Q(t) \quad (17)$$

Dabei ist

- C_{target} die Zielkonzentration für das Verfahren mit konstanter Konzentration [m^3/m^3];
- $Q(t)$ die Luftwechselrate zum Zeitpunkt t [m^3/h];
- $m(t)$ die Indikatorgasdosis zum Zeitpunkt t [m^3/h].

Entsprechend wird die Luftwechselrate nach folgender Gleichung berechnet:

$$Q(t) = \frac{m(t)}{C_{\text{target}}} \quad (18)$$

4.4 Art des Indikatorgases

Zur Messung der Luftwechselrate in einer Zone werden sechs Arten von Indikatorgas entsprechend der folgenden Tabelle angewendet.

Tabelle 2 — Arten des Indikatorgases

Gasart	Helium ^a	Kohlendioxid ^b		Schwefelhexafluorid ^c		Perfluorkohlenstoff ^d	Ethylen ^e	Stickstoffmonoxid ^f
Chemisches Symbol	He	CO ₂ ^b		SF ₆ ^c		CF ₄ (PFC-14) C ₂ F ₆ (PFC-16)	C ₂ H ₄	N ₂ O
Prüfverfahren	GC-TCD	Infrarot-Gasabsorption	GC-ECD	Infrarot-Gasabsorption	GC	GC-ECD	Infrarot-Gasabsorption & FID & GC	Infrarot-Gasabsorption
Beispiel der unteren Nachweisgrenze	300 × 10 ⁻⁶	1 × 10 ⁻⁶	70 × 10 ⁻⁶	0,001 × 10 ⁻⁶		—	0,1 × 10 ⁻⁶	0,1 × 10 ⁻⁶
Zulässige Konzentration	—	5 000 × 10 ⁻⁶		1 000 × 10 ⁻⁶		—	—	25 × 10 ⁻⁶
Relative Dichte in Bezug auf Luft [-]	0,138	1,545		5,302		Beispiel: PFC-14 : 3,06 PFC-16 : 4,80	0,974	1,53
Treibhauspotential (GWP)	—	1		23 900		Beispiel: PFC-14 : 6 500 PFC-16 : 9 200	—	310

ANMERKUNG 1 Zusätzlich zu den vorstehend angegebenen Gasen können auch Stickstoff, Kohlenmonoxid, Ethan, Methan, Isobuten (2-Methylpropen), Octofluorocyclobutan, Trifluorbrommethan, Dichlordifluormethan und Dichlortetrafluormethan als Indikatorgas verwendet werden.

ANMERKUNG 2 Das GC in der Tabelle steht allgemein für Gaschromatographie, das GC-TCD für Gaschromatographie mit Wärmeleitfähigkeitsdetektor und GC-ECD für Gaschromatographie mit Elektroneneinfangdetektor.

ANMERKUNG 3 Das Treibhauspotential ist definiert als relatives Treibhauspotential je Masseinheit bezogen auf Kohlendioxid.

ANMERKUNG 4 Die Infrarotabsorption umfasst sowohl TS (Transmissionsspektroskopie) als auch PAS (photoakustische Spektroskopie).

- ^a Helium sollte chemisch stabil sein.
- ^b CO₂ löst sich in Wasser und kann an Baustoffen oder Möbeln adsorbiert werden und ist daher nicht für eine genaue Messung geeignet. Ist für die Messung jedoch keine kritische Genauigkeit erforderlich, wird häufig CO₂ verwendet. Der Grund dafür besteht darin, dass die Messung leicht durchführbar ist. Bei Anwesenheit von Personen, die CO₂ erzeugen, kann dieses Verfahren jedoch nicht angewendet werden.
- ^c SF₆ hat ein hohes Treibhauspotential und sollte daher nicht in großen Mengen eingesetzt werden. SF₆ ist ein inaktives Gas. Wenn es auf 500 °C erwärmt wird, erzeugt es toxische Gase. Daher sollte es nicht an Orten eingesetzt werden, an denen ein Heizlüfter eingesetzt wird und SF₆ durch die Wärmequelle fließt.
- ^d PFC hat ein hohes Treibhauspotential und sollte daher nicht in großen Mengen eingesetzt werden.
- ^e Ethylen ist entflammbar und sollte mit Vorsicht behandelt werden.
- ^f N₂O hat ein hohes Treibhauspotential und sollte daher nicht in großen Mengen eingesetzt werden. N₂O löst sich in Wasser und reagiert mit Aluminium. Es entzündet sich bei hoher Temperatur. Es muss unbedingt darauf geachtet werden, es nicht über seiner zulässigen Konzentration anzuwenden, da es gesundheitsschädlich ist.

4.5 Messausrüstung

Die erforderlichen Messgeräte sind nachfolgend entsprechend der Gruppe der in Tabelle 1 aufgeführten Prüfverfahren aufgelistet. Jedes Gerät wird wie folgt definiert: als Hilfsmittel zur Dosierung und Verteilung des Indikatorgases und zur Entnahme von Luftproben sowie als Analysengerät für die Messung der Gaskonzentration und mit der Funktion weiterer Messgeräte.

Tabelle 3 — Gruppe der Prüfverfahren und Messgeräte

Prüfverfahren \ Messgerät		Indikatorgas-Generator	Indikatorgas-Verteiler	Indikatorgas-Auffangeinrichtung	Messgerät für die Indikatorgaskonzentration	Weitere Ausrüstung
Verfahren mit abfallender Konzentration	2-Punkt-Abklingverfahren	Zylinder und Ventil mit Durchflussmessgerät ^a	Gebälse für Gemisch	Manuelles Ansaugen und Beutel aus Polyvinylidenfluorid	Gaskonzentrations-Detektor oder -Analysegerät	Lesegerät oder Aufzeichnungsgerät
	Mehrpunkt-Abklingverfahren	Zylinder und Ventil mit Durchflussmessgerät ^a	Gebälse für Gemisch oder Rohr zur Verteilung sowie Gitternetz an der Luftleitung	Teflonrohr und Gasansaugpumpe	Konzentrationsanalysegerät	2-Punkt-Abklingverfahren
	Verfahren mit abklingender Abluftkonzentration	Zylinder und Ventil mit Durchflussmessgerät ^a	Gebälse für Gemisch ^f	Teflonrohr und Gasansaugpumpe	Konzentrationsanalysegerät	Aufzeichnungsgerät und PC
	Impulsverfahren	Behälter mit bekanntem Volumen ^c	Nicht erforderlich	Teflonrohr und Gasansaugpumpe	Gaskonzentrations-Analysegerät	Aufzeichnungsgerät und PC
Verfahren mit konstanter Injektion	Verfahren mit mittlerer Umkehrkonzentration	Präzisions-Durchflussmessgerät und Zylinder ^b	Gebälse für Gemisch	Teflonrohr und Gasansaugpumpe	Konzentrationsanalysegerät	Aufzeichnungsgerät und PC
	Verfahren mit mittlerer Konzentration	a) Aktives Verfahren	Präzisions-Durchflussmessgerät und Zylinder ^b	Gebälse für Gemisch	Teflonrohr und Gasansaugpumpe	Konzentrationsanalysegerät
		b) Passives Verfahren	Spezifische Generator (Dosiervorrichtung) ^d	N.A.	Spezifische Probenahme-einrichtung ^g	Konzentrationsanalysegerät
	Verfahren mit stationärer Konzentration	Präzisions-Durchflussmessgerät und Zylinder	Nicht erforderlich	Teflonrohr und Gasansaugpumpe	Konzentrationsanalysegerät	Aufzeichnungsgerät und PC
Verfahren mit konstanter Konzentration		Zylinder mit Rückkopplungsregelung ^e	Gebälse für Gemisch	Teflonrohr und Gasansaugpumpe	Konzentrationsanalysegerät	Prozessregler
^a Einschließlich eines Schwebekörper-Durchflussmessgeräts. ^b Einschließlich Feinmessventil oder (Ventil mit) elektronischem Massendurchflussregler. Im Allgemeinen sollte der Zylinder einen Druck von 1 MPa, ein Fassungsvermögen von (10 bis 15) l und eine Masse von (5 bis 10) kg aufweisen. ^c Skalierte Spritze (auf Ex) oder Massendurchflussmessgerät mit Zeitregler. ^d Einschließlich Aluminiumröhrchen mit der Größe eines Fingers zur Dosierung des Kohlenstoffhydrids durch allmähliches Verdampfen. ^e Dosiervorrichtung für komprimiertes Indikatorgas mit einer Kombination aus Durchflussmessgerät und System der Rückkopplungsregelung für die Konzentration innerhalb der Zone. ^f Mischen ist nur in der Anfangsphase der Messung erforderlich. ^g Aktivkohleröhrchen adsorbiert verdampftes Kohlenstoffhydrid.						

4.5.1 Dosiervorrichtung für das Indikatorgas

Die Dosiergeschwindigkeit muss genau gemessen werden. Tabelle 3 gibt die Kombinationen an; für jedes Prüfverfahren nach Tabelle 1 und das nach Tabelle 2 angewendete Indikatorgas sollte jedoch ein geeignetes Volumen gewählt werden. Wird der Gasvolumenstrom gemessen, erfolgt gleichzeitig zum Zwecke der Abschätzung des Massendurchflusses des Gases die Messung der Temperatur. Es sollte ein Ventil mit einer daran angebrachten Heizvorrichtung vorbereitet werden, um im Falle der Emission eines großen Volumens an Kohlendioxid usw. ein Abkühlen oder Einfrieren am Ventil zu verhindern.

Folgende Maßnahmen sind zur Förderung eines gleichmäßigen Durchmischens erforderlich.

4.5.1.1 Mischventilator

Für das ordnungsgemäße Mischen innerhalb einer Prüfzone sind Ventilatoren erforderlich. Dies ist jedoch dann nicht wünschenswert, wenn in der Zone eine Temperaturschichtung vorliegt, die die Luftwechselrate und den spezifischen Luftvolumenstrom beeinträchtigen würde.

4.5.1.2 Synchrone Emission des Indikatorgases

Rohr- und Schlauchsystem usw. für die Verteilung/Emission durch verzweigte Rohrleitungen oder Umschalter für das Indikatorgas für den Fall, dass mehrere Auslässe vorbereitet werden.

4.5.2 Probenahmeeinrichtung für das Indikatorgas

4.5.2.1 Werkstoffe für die Probenahmeeinrichtung

Die Werkstoffe für die Probenahmeeinrichtung für das Indikatorgas, bei der es sich vorwiegend um Rohre und Schläuche handelt, dürfen das eingesetzte Indikatorgas nicht absorbieren, nicht mit diesem reagieren und nicht durchlässig dafür sein. Grundsätzlich sind Glas, Kupfer und nichtrostender Stahl usw. zu bevorzugen. Für flexible Behälter ist Metallfolie geeignet. Weitere zulässige Werkstoffe sind Polypropylen, Polyethylen und Polyamid. Häufig werden fluorinbeschichtete Schläuche, sogenannte Teflonschläuche, eingesetzt. In Abhängigkeit vom verwendeten Indikatorgas umfassen die zu vermeidenden Werkstoffe Weichplastik. Schläuche (insbesondere solche aus Kunststoff), die bereits einmal für die Injektion des reinen Indikators eingesetzt wurden, sollten nicht mehr für die Probenahme der Luft verwendet werden.

4.5.2.2 Tragbare Probenahmeeinrichtungen

Dies umfasst gasdichte Spritzen, flexible Flaschen und Probenbeutel mit einem Fassungsvermögen von mindestens dem Dreifachen der Probe mit der Mindest-Luftkonzentration in der Gasanalyseeinrichtung. Die tragbare Probenahmeeinrichtung muss luftdicht beschaffen sein, sodass die Luftproben nicht verdünnt oder verunreinigt werden.

4.5.2.3 Probenahmenetz für die Analyse vor Ort

Das Rohrnetz besteht aus einem Verteiler für das Leiten mehrerer Probenahmerohre zur Gasanalyseeinrichtung, einem Umschalter und einer Pumpe, die zur Analyseeinrichtung führt; üblicherweise ist es jedoch integriert und so programmiert, dass die zu beprobende Luft in zuvor festgelegten Zeitabständen angesaugt wird, und ist direkt mit der Gasanalyseeinrichtung verbunden.

4.5.3 Gasanalyseeinrichtung

Die Gasanalyseeinrichtung muss für das Indikatorgas und die vermuteten Konzentrationen geeignet sein. Die Analyseeinrichtung muss auch genau kalibriert sein, und der Messfehler darf $\pm 5\%$ nicht überschreiten. Sofern Bedenken hinsichtlich der Drift der Analyseeinrichtung bestehen, sollte sie zu Beginn und am Ende der Prüfung kalibriert werden. Der Vorteil einer Gasanalyseeinrichtung besteht in der Möglichkeit der kontinuierlichen Echtzeitmessung der Verunreinigungen im Innenraum, z. B. CO₂, TVOC, CO, Formaldehyd usw.

4.5.4 Datenerfassungs- und -überwachungssystem

Die folgende Ausrüstung ist erforderlich, wenn das Verfahren mit der konstanten Konzentration angewendet wird.

4.5.4.1 Datenerfassungseinrichtung

Es werden Einrichtungen, mit denen auf einem Rechner über eine Schnittstelle Daten zur Raumtemperatur, Außenlufttemperatur, Windrichtung/Windgeschwindigkeit und Indikatorgaskonzentration erfasst werden können, sowie auch weitere Datenaufzeichnungsgeräte angewendet.

4.5.4.2 Prozessregler

Z. B. ein Computer zur Aufrechterhaltung einer konstanten Indikatorgaskonzentration im Raum. Beim Verfahren mit konstanter Konzentration wird die Gaskonzentration über einen Rückkopplungsprozess geregelt, daher ist die Anwendung eines Algorithmus der „digitalen optimalen Kontrolle“ erforderlich, der die Abweichungen in der Zielkonzentration auf ein Mindestmaß verringert.

4.5.5 Weitere Einrichtungen

Folgende Einrichtungen dürfen angewendet werden, sofern dies erforderlich ist.

4.5.5.1 Zeitmessgerät

Uhr oder sonstige Einrichtung zur Anzeige einer gemeinsamen Normzeit für Gasinjektion, Probenahme und Wetterbeobachtungen im Zusammenhang mit der Durchführung der Messung. Die zeitliche Differenz zwischen den Ereignissen ist mit einer Unsicherheit von 1 % durch das Zeitmessgerät zu bestimmen. Üblicherweise wird dies häufig durch einen zur Datenaufzeichnung verwendeten PC ausgeführt, allerdings ist die Zuverlässigkeit dann auf keinen Fall hoch.

4.5.5.2 Temperaturmessfühler

Thermometer oder Thermopaar, Thermistor und Widerstandsthermometer sowie Aufzeichnungsgerät zur Bestimmung der Temperaturverteilung in der geprüften Zone und der Temperatur des abgegebenen Gases.

4.5.5.3 Meteorologisches Beobachtungssystem

Einrichtung zur Aufzeichnung der Windrichtung/Windgeschwindigkeit (Außenumgebung) und der Außentemperatur, von denen angenommen wird, dass sie einen Einfluss auf die Luftwechselrate haben.

5 Durchführung

5.1 Allgemeines

Im Allgemeinen können die Prüfverfahren in das Verfahren mit abfallender Konzentration, das Verfahren mit konstanter Injektion und das Verfahren mit konstanter Konzentration unterteilt werden. Das Verfahren mit abfallender Konzentration wird weiter in das 2-Punkt-Abklingverfahren, das Mehrpunkt-Abklingverfahren und das Verfahren mit abklingender Abluftkonzentration unterteilt.

Bei jedem Verfahren muss das Gas so dosiert (zugeführt) werden, dass sich in dem zur Bewertung der Lüftung genutzten Raum eine gleichmäßige Verteilung ergibt, um sicherzustellen, dass die über das Volumen gemittelte Konzentration in der Zone durch die Messung der Gaskonzentration bestimmt werden kann.